DOI:10.24850/j-tyca-2018-03-02

Artículo

Métodos de desinfección del agua y su implicación en la legionelosis

Water disinfection methods and their affect on legionellosis

Enrique Gea-Izquierdo[1,2]

[1]Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, enriquegea@yahoo.es

[2]Cátedra de Seguridad y Salud en el Trabajo, Universidad de Málaga, Málaga, España

Autor para correspondencia: Enrique Gea-Izquierdo, enriquegea@yahoo.es

Resumen

La legionelosis es una enfermedad respiratoria causada por la bacteria *Legionella* spp. y de origen preferente en sistemas de dispersión de agua. El objetivo fue determinar si los métodos de desinfección del agua empleados en los sistemas de enfriamiento pueden estar relacionados con el cumplimiento hotelero de la legislación sanitaria española para la prevención de la legionelosis. Se realizó un análisis de componentes principales y correspondencias aplicado sobre una muestra de equipos de intercambio aire-agua (torres de refrigeración, condensadores evaporativos y adiabáticos) correspondientes a hoteles (n = 26) ubicados en la provincia de Málaga, España, y métodos de desinfección vinculados (cloración, radiación ultravioleta, ozonización, bromación e ionización cobre-plata). El periodo de estudio comprendió los años 2004-2009. Se presentó una asociación positiva entre diferentes métodos e instalaciones, así como una correspondencia de los primeros con ciertas categorías de hoteles. La cloración se relacionó con los hoteles de dos, tres y cinco estrellas, en torres de refrigeración y condensadores evaporativos; los de cuatro estrellas presentaron una relación con la ozonización e ionización cobre-plata, identificándose esta última con los condensadores adiabáticos; y los de gran lujo con la radiación ultravioleta, sin asociación con instalaciones específicas. El

grado de correspondencia sugiere que existe una relación específica entre la prevención de la legionelosis en instalaciones de alto riesgo del sector hotelero y los sistemas de desinfección del agua.

Palabras clave: *Legionella pneumophila*, legionelosis, desinfección, equipos de intercambio aire-agua, hoteles.

Abstract

Legionellosis is a respiratory disease caused by the bacterium *Legionella* spp., which is primarily found in water distribution systems. The objective was to describe whether water disinfection methods used in cooling systems are related to hotel compliance with Spanish health legislation for the prevention of legionellosis. Principal components and correspondence analyses were done on samples from air-water cooling systems (cooling towers, evaporative and adiabatic condensers) at hotels (n = 26) located in the province of Malaga (Spain), in relation to water disinfection methods (chlorination, ultraviolet radiation, ozonation, bromination and copper-silver ionization). The period studied was between 2004 and 2009. A positive association was found between the different water disinfection methods and facilities as well as between those factors and certain hotel categories. Chlorination corresponded to two-, three- and five-star hotels and cooling towers and evaporative condensers. The four-star hotels showed a relation to ozonation and copper-silver ionization, identifying the latter with adiabatic condensers. Luxury hotels corresponded with ultraviolet radiation, and this was not associated with specific risk facilities. The degree of correspondence suggests a specific relationship between the prevention of legionellosis at high-risk hotel facilities and water disinfection systems.

Keywords: *Legionella pneumophila*, legionellosis, disinfection, air-water cooling systems, hotels.

Recibido: 14/10/2015

Aceptado: 11/12/2017

Introducción

La legionelosis es una enfermedad causada por la bacteria *Legionella* spp., que muestra una distribución mundial con representación en América del Norte, Sudamérica, Asia, África, Australia y Europa. Desde 1997 la incidencia de la enfermedad en España ha presentado una tendencia creciente hasta el año 2002, con una tasa de crecimiento anual en ese periodo de 52.5%. A partir del año 2002 y hasta el 2009 se mantiene una tendencia conservadora de las tasas de incidencia de la legionelosis (Gea-Izquierdo, Mezones-Holguin, & Haro-García, 2012).

Legionella presenta la capacidad de crecer en entornos naturales y artificiales con un amplio espectro de supervivencia en cuanto a las condiciones medioambientales (Hilbi, Hoffmann, & Harrison, 2011).

En algunas ocasiones *legionellae* es capaz de colonizar medios hídricos en concentraciones bajas y posteriormente contaminar la red de abastecimiento.

En condiciones físico-químicas óptimas del agua, el microorganismo aumenta su capacidad de crecimiento y tiene la habilidad de dispersarse a través de las instalaciones de enfriamiento aire-agua. El rango óptimo de pH para la supervivencia se encuentra entre 6 y 8, con una actividad metabólica que puede ser mantenida durante largos periodos, inclusive en medios con altas concentraciones de sal. El hecho de que en estos sistemas persistan temperaturas entre 32 y 42 ^{o}C aporta el medio apropiado para la bacteria, al tratarse de un intervalo de desarrollo y supervivencia (Rhoads, Ji, Pruden, & Edwards, 2015).

En la prevención de la infección por *Legionella*, además del control de la temperatura, es necesario establecer determinados criterios de calidad en cuanto a otros parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua.

En el caso de *Legionella pneumophila* suele asociarse con otros microorganismos de los que en algunas ocasiones obtiene nutrientes orgánicos o protección (Richards, Von Dwingelo, Price, & Abu-Kwaik, 2013; Dietersdorfer, Cervero-Aragó, Sommer, Kirschner, & Walochnik, 2016), por lo que el control microbiológico es un elemento fundamental en la prevención de la legionelosis (Iervolino, Mancini, & Cristino, 2017; Ohno, Kato, Yamada, & Yamaguchi, 2003).

De esta forma, las interacciones entre las bacterias acuáticas y los (potenciales) patógenos en hábitats tan diversos como el agua libre y las "biopelículas" son esenciales para la supervivencia o el crecimiento de organismos higiénicamente relevantes (Szewzyk, Szewzyk, Manz, & Schleifer, 2000). La invasión y replicación intracelular de *Legionella*

pneumophila dentro de los protozoos en el medio ambiente juega un papel fundamental en la transmisión de la legionelosis. Los segundos proporcionan el hábitat para la supervivencia ambiental y la reproducción de las especies de *Legionella*.

Se han propuesto varios métodos de desinfección físicos y químicos para la eliminación de la bacteria en las fuentes de contagio, pero la consecución en el control de *Legionella* en las aguas medio ambientales donde está protegida de la desinfección mediante crecimiento intracelular en los protozoos y dentro de "biopelículas" sugiere nuevos planteamientos, con objeto de dominar brotes esporádicos de la enfermedad (Gea-Izquierdo, 2016). Por lo tanto, el control de los factores medio ambientales influye en el desarrollo bacteriano. Así, la expresión del flagelo simple y monopolar de la bacteria está modulado por la temperatura, viscosidad y osmolaridad del medio, y por aminoácidos (Heuner, Brand, & Hacker, 1999); indicando que la persistencia de *Legionella pneumophila* dentro de las "biopelículas" tratadas con desinfectantes sugiere que las prácticas de testeo corriente subestiman el riesgo de contraer legionelosis (Williams & Braun-Howland, 2003).

El empleo de métodos de desinfección (físicos, químicos o físico-químicos) constituye una de las barreras en el control higiénico-sanitario de la calidad del agua (Real Decreto 865/2003, 2003). Estos deben ser de probada eficacia frente a *Legionella* y no han de suponer riesgos para la instalación ni para la salud y seguridad de los operarios ni otras personas que puedan estar expuestas. Los sistemas físico-químicos se utilizan con el fin de destruir la carga bacteriológica del agua mediante la aplicación de procedimientos electroquímicos, debiendo registrarse cuando así se establezca en la normativa reguladora de biocidas. La aplicación de un método de desinfección en detrimento de otro suele basarse en criterios de calidad del agua (turbidez, flora microbiana, etc.), por lo que en una instalación de riesgo es posible identificar sistemas de desinfección específicos. En otros casos, la acción combinada mejora el control de la bacteria previendo su posible proliferación.

Los sistemas de enfriamiento aire-agua (torres de refrigeración, condensadores evaporativos y adiabáticos) constituyen una de las instalaciones con mayor probabilidad de desarrollo y dispersión de *Legionella pneumophila*, tratándose de instalaciones de alto riesgo (Fields, Benson, & Besser, 2002). En el mantenimiento higiénico-sanitario de las instalaciones, los sistemas de desinfección se consideran como métodos de tratamiento del agua indispensables para el control del peligro. El objetivo de este estudio es determinar si los métodos de desinfección del agua integrados en las instalaciones descritas pueden estar relacionados con el cumplimiento hotelero de la legislación sanitaria española para la prevención de la legionelosis.

Métodos

Se analizaron los equipos de intercambio aire-agua (torres de refrigeración, condensadores evaporativos y adiabáticos) correspondientes a hoteles (*n* = 26) ubicados en poblaciones de interior y costeras de Málaga (Andalucía, España), comparando los resultados obtenidos del periodo 2004-2009 con lo reglamentado en la normativa española por la que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis (Real Decreto 865/2003, 2003).

El diseño del estudio contempló la recogida de información a través de una encuesta autoadministrada (Gea-Izquierdo, 2008) dirigida a los responsables y directores de los edificios con instalaciones de riesgo, así como la toma de muestras de agua en las balsas de equipos de intercambio aire-agua y posterior análisis en laboratorios autorizados por la Autoridad Sanitaria española según norma estandarizada (UNE-ISO 11731:2007, 2007).

Para el control del riesgo sanitario de desarrollo de la bacteria se seleccionaron 41 variables (Gea-Izquierdo, 2008): categoría del hotel; existencia de torres de refrigeración; condensadores evaporativos; condensadores adiabáticos; estacionalidad de los equipos mencionados; funcionamiento diurno; origen del agua; notificación de los equipos a la autoridad sanitaria; mejora en los mismos; control del agua; laboratorio homologado para el análisis de muestras; distancia instalación de riesgo-persona expuesta (< 20 metros); distancia instalación de riesgo-toma de aire acondicionado (< 20 metros); vaciado del circuito del sistema de refrigeración; separador de gotas (caudal de agua arrastrada > 0.05 % caudal de agua circulante); existencia de biocida, cloración, radiación ultravioleta, ozonización, bromación, desinfección cobre-plata, controles físico-químicos y microbiológicos del agua; periodicidad de los tipos de controles (físico-químicos > mensual y microbiológicos: *Legionella pneumophila* > trimestral y aerobios totales > mensual); programa y registro de mantenimiento higiénico-preventivo; formación de personal cualificado según normativa, empresa aplicadora, registro de empresa; control de la temperatura del agua; filtración del agua; acceso a los equipos; composición de las conducciones; productos químicos aplicados, y ficha de seguridad de los mismos.

Se realizó un estudio analítico y análisis de componentes principales, para la explicación de las *n* observaciones (tipos de hotel) y de las *p* variables originales (torres de refrigeración, condensadores evaporativos y adiabáticos) según un gráfico *biplot*. Para ello se representaron en los ejes coordenados de las dos primeras componentes principales, sus puntuaciones y unos vectores que caracterizan a las *p* variables. En la obtención de soluciones factoriales, el análisis de componentes principales consideró la varianza total, estimando los factores que contienen proporciones bajas de varianza única y, en determinados casos, la varianza de error. El interés se centró en la predicción o el mínimo número de factores necesarios para justificar la porción máxima de la varianza representada en la serie de variables original. Como medio objetivo de interpretación se utilizó un modelo de vector para captar las calificaciones de las posiciones de los sistemas de desinfección en el mapa perceptual. La capacidad de eliminación de la bacteria fue en función del método de desinfección empleado y los controles físico-químicos y microbiológicos del agua; además de la periodicidad de los controles y, en particular, el de *Legionella* spp., y aerobios totales (Gea-Izquierdo, 2012).

Las observaciones se ordenaron según la categoría del hotel (dos [2H], tres [3H], cuatro [4H], cinco estrellas [5H] y gran lujo [GL]), y su análisis se realizó para los diferentes sistemas de desinfección: cloración (Cl), radiación ultravioleta (RU), ozonización (Oz), bromación (Br) e ionización cobre-plata (CP).

Asimismo, según las observaciones correspondientes al número de hoteles, que incluyen las instalaciones de riesgo de la bacteria, se analizó la relación (correspondencia) entre las variables "sistemas de desinfección del agua" y los "tipos de hoteles". Para ello se realizó un test de independencia de caracteres de la χ^2 en donde la hipótesis nula sea la independencia de ambas variables. En el análisis de correspondencias se empleó la χ^2 para estandarizar los valores de frecuencia y formar las bases de las asociaciones. Se creó una medida de distancia métrica y dimensiones ortogonales sobre las que se pueden colocar las categorías para considerar la fortaleza de la asociación representada por las distancias de la χ^2. El análisis intentó satisfacer simultáneamente las relaciones mediante la producción de dimensiones representativas de las distancias $\chi 2$.

Obtenidas las distancias métricas se definieron soluciones de dimensiones reducidas y se calcularon los autovalores para cada dimensión, indicando la contribución relativa de cada una en la explicación de la variación en las categorías. Posteriormente se presentó la interdependencia a través de la reducción dimensional y el mapa perceptual, basándose este último en la asociación entre la categoría del hotel y los sistemas de desinfección, expresando la correspondencia de categoría de variables con una capacidad única

para representar filas y columnas en un único espacio multidimensional y ofreciendo una expresión multivariante de interdependencia para datos no métricos que no es posible obtener mediante otros métodos.

Los programas informáticos utilizados en la recopilación y análisis de los datos fueron, respectivamente: *SPSS* (Copyright SPSS Inc., 1 989-2 006. Windows. Version 15.0.1. 22 Nov 2 006) y *R Development Core Team* (2 010), *R: A language and environment for statistical computing*, *R Foundation for Statistical Computing*, Viena, Austria.

Resultados

La descripción de la distribución de las variables de acuerdo con las categorías de los hoteles se fundamenta en los estudios realizados al efecto por determinados autores (Gea-Izquierdo, 2008). De esta forma, los resultados de aplicar los datos de clasificación al mapa perceptual de composición se muestran en la Figura 1, en la que se pueden identificar dos tipos distintos de dimensiones de atributos. El primero comprende los condensadores adiabáticos y el segundo las torres de refrigeración y los condensadores evaporativos que apuntan en la misma dirección. El primer tipo es casi perpendicular con respecto a las otras dos dimensiones, indicando una dimensión separada y distinta. La representación se expresa en el gráfico *biplot* según las siglas correspondientes a los distintos sistemas de desinfección y variables originales. Respecto a las torres de refrigeración, condensadores evaporativos y adiabáticos, la varianza para ambas variables es muy similar, pues tienen asociados vectores de longitud próxima. De igual forma existe correlación, pues el ángulo que separa a los correspondientes vectores es pequeño, siendo mayor entre las torres de refrigeración y los condensadores adiabáticos. El sentido del eje correspondiente a la primera componente principal ordena los datos y se observa, por las puntuaciones obtenidas con las dos primeras componentes principales de las observaciones, que el mejor sistema de desinfección respecto al cumplimiento preventivo es la cloración (Cl, de coordenada próxima a 1 respecto a la primera componente principal). Contrario a lo anterior, los peores sistemas de desinfección en cuanto a los criterios higiénico-sanitarios (Real Decreto 865/2003, 2003) son la radiación ultravioleta y la ozonización (RU y Oz, respectivamente), siempre con base en lo que representa la primera componente principal, que será la más importante y recogerá

la mayor variabilidad de la matriz de datos. El orden de aproximación es el mismo para las torres de refrigeración y condensadores evaporativos (Cl > Br > CP > Oz/ RU), mientras que en los condensadores adiabáticos sufre variaciones (CP > Br > Cl > Oz/ RU). El test de independencia de la $\chi 2$ muestra un valor λ de Pearson = 32.129 y valor p = 0.001.

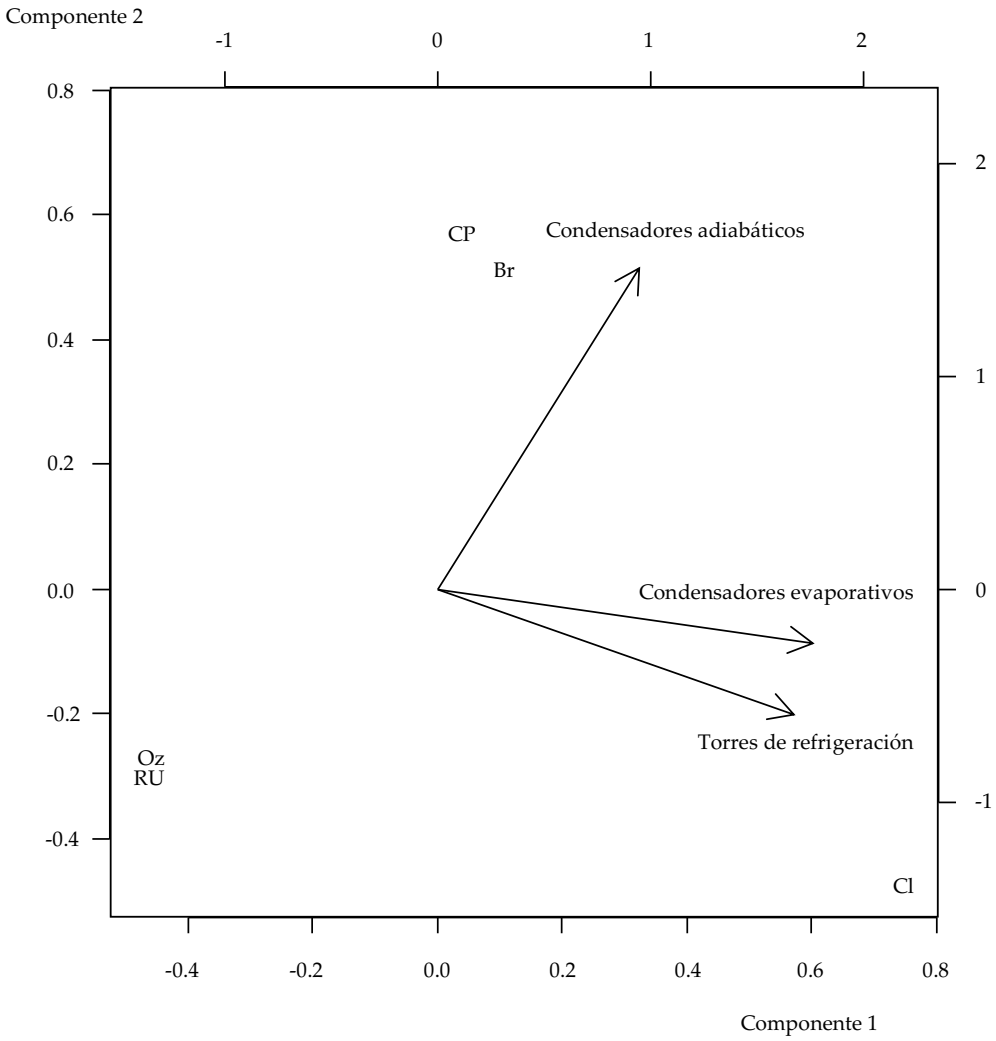

Figura 1. Análisis de los sistemas de desinfección e instalaciones de riesgo.

Mediante el análisis en dos coordenadas se obtienen las primeras correlaciones canónicas (1 y 0.696) y el gráfico de correspondencias (Figura 2). Para analizar si el uso de las dos primeras coordenadas es adecuado se obtiene la inercia total (1.504). Con un valor absoluto de

1.485, la representación en dos dimensiones recoge el 98.7%, suficiente como para concluir que la representación bidimensional es adecuada. Es decir, la inercia total es recogida en un 98.7% por la representación bidimensional, lo que conduce a aceptar ésta como válida.

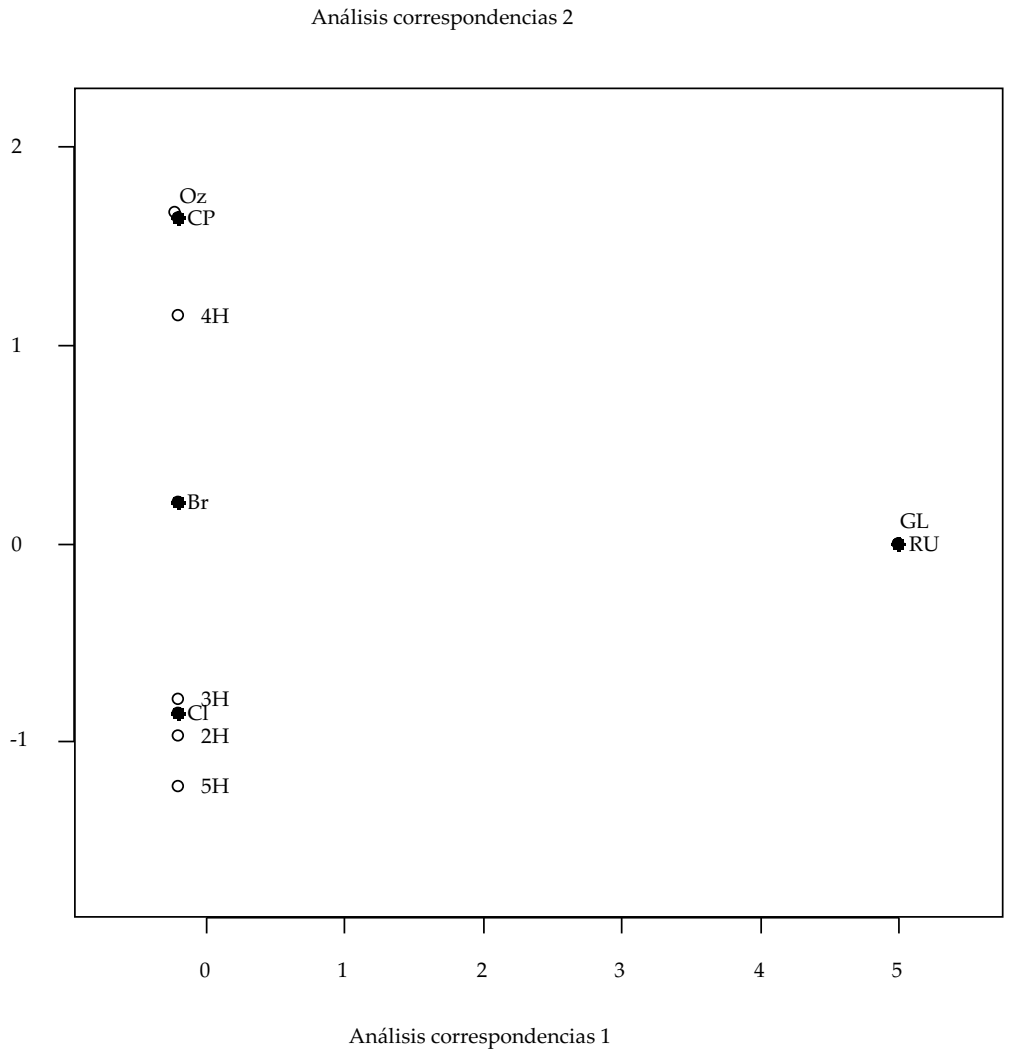

Figura 2. Análisis de los sistemas de desinfección y la categoría del hotel.

El mapa perceptual obtenido en el análisis de correspondencias pondera frente a las interdependencias inherentes que existen y los sesgos potenciales de un posible atributo omitido de un sistema de desinfección, o de un único atributo (o sistema) que no fuese apropiado. En la Figura 2, los sistemas de desinfección se localizan con más proximidad a la categoría del hotel con los cuales están altamente relacionados y alejados de otros con correspondencias más bajas.

Discusión

El estudio realizado muestra una asociación positiva entre determinados sistemas de desinfección del agua frente a *Legionella* spp. y la categoría de los hoteles, así como entre los primeros con ciertos sistemas de intercambio aire-agua. Por ello, es factible determinar el riesgo de presencia de la bacteria y las instalaciones que *a priori* puedan resultar más críticas en el desarrollo del agente.

Por lo tanto, en el mantenimiento higiénico-preventivo de la calidad del agua para la prevención de la legionelosis es preceptivo el empleo de métodos de control de la bacteria. Dentro de los más conocidos se encuentran los métodos químicos que usan desinfectantes, como los iones metálicos (plata y cobre), agentes oxidantes (compuestos que contengan halógenos, como cloro, bromo, iodo, dióxido de cloro, cloraminas e hidantoinas halogenadas; ozono, y peróxido de hidrógeno) y agentes no oxidantes (cetonas heterocíclicas, guanidinas, tiocarbamatos, aldehídos, aminas, tiocianatos, amidas halogenadas y glicoles halogenados). En general, los desinfectantes oxidantes son más efectivos que los no oxidantes.

Entre los agentes oxidantes, el cloro es especialmente conocido y ampliamente utilizado; mientras que en los no oxidantes, 2,2-dibromo-3-nitropropionamida parece ser el más efectivo, seguido por el glutaraldehído, y éste más que el isotiazolin, polihexametileno biguanida y 2-bromo-2-nitropropionamida (Kim, Anderson, Mueller, Gaines, & Kendall, 2002).

La evaluación de los efectos desinfectantes de distintos métodos sobre *Legionella* es algo que ha sido ampliamente probado.

Mientras que en una solución de plata de 50 µg/l ciertas cepas de *Legionella* son destruidas en un intervalo de 6 h, otras sólo son destruidas por radiación ultravioleta a 90 mW x s/cm^2, constatando que la efectividad en la destrucción de las cepas en exposición a una solución acuosa de cloro de 2 mg/l se realiza en el intervalo de tres minutos (Miyamoto, Yamaguchi, & Sasatsu, 2000).

Así, se ha detectado una diferencia significativa en el comportamiento fisiológico de las poblaciones de las "biopelículas" dependiendo de las técnicas de desinfección.

En comparación con la desinfección por dióxido de cloro (0.12-0.16 mg/l), las actividades respiratorias de los microorganismos aumentan en todos los materiales durante la desinfección por radiación ultravioleta (254 nm, 400 J/m^2).

Por ello, el dióxido de cloro puede ser una solución prometedora al problema de la contaminación por *Legionella* en el abastecimiento de agua (Srinivasan *et al*., 2003), aunque el suministro de agua potable conteniendo cloro libre como desinfectante residual muestra más propensión a la aparición de un brote por legionelosis que los que presentan monocloraminas como desinfectante residual.

Se estima que 90% de los brotes asociados con el agua potable no ocurriría si las monocloraminas hubiesen sido utilizadas en lugar de cloro libre para la desinfección, pudiendo ser la cloraminación del agua potable un método efectivo de coste para el control de la legionelosis a niveles municipales (Heffelfinger *et al*., 2003). En consecuencia, su puesta en práctica generalizada podría prevenir miles de casos (Kandiah, Yassin, & Stout, 2013).

En algunos sistemas, niveles de zinc < 20 mg/l y de cobre > 50 mg/l parecen servir de protección frente a la colonización por *Legionella*, aunque determinadas especies y serogrupos están distribuidos de forma heterogénea, según la instalación de riesgo, temperatura del agua y cloro libre, sugiriendo que las cepas de *Legionella* pueden tener diferente sensibilidad y resistencia a los factores ambientales y distintos nichos ecológicos (Borella *et al*., 2004).

Algunos autores indican que cuando el pH se eleva a nueve, los iones cobre logran sólo una reducción 1 log (en número de *Legionella* en 24 h), comparada con una disminución 6 log a pH 7. En cambio, los iones plata son capaces de conseguir una reducción 6 log en 24 h en todos los rangos de parámetros de calidad de agua, mientras que la precipitación de complejos cobre insolubles se observa a pH aproximado de 6, por lo que el pH en los sistemas de agua puede ser un factor importante en la eficacia de la ionización cobre-plata para el control de *Legionella* (Lin, Vidic, Stout, & Yu, 2002; Dziewulski, Ingles, Codru, Strepelis, & Schoonmaker-Bopp, 2015).

Otros estudios sugieren que la ionización cobre-plata no es del todo eficaz frente al desarrollo de la bacteria (Triantafyllidou, Lytle, Muhlen, & Swertfeger, 2016), existiendo una tolerancia a iones plata o que una concentración de ion plata de 3 µg/l es suficiente para controlar el crecimiento de *legionellae* en el agua caliente en circulación, pero no en determinados puntos críticos de las instalaciones (Kusnetsov, Iivanainen, Elomaa, Zacheus, & Martikainen, 2001); o simplemente que la ionización cobre-plata es una modalidad de desinfección con muchos criterios positivos de evaluación (Stout & Yu, 2003).

Las ventajas de la ionización incluyen un coste relativamente bajo, instalación y mantenimiento sencillo, "productos no tóxicos", y la presencia de un desinfectante residual. Los iones de cobre cargados positivamente forman enlaces electrostáticos con emplazamientos cargados negativamente en la pared celular. La membrana celular es distorsionada, permitiendo el ingreso de iones de plata, que atacan a la célula mediante fijación en sitios específicos en el ADN, ARN, enzimas respiratorias y proteínas celulares, causando la muerte de la bacteria.

Así, concentraciones de iones de plata y cobre de 40 y 400 µg/l, respectivamente, son efectivas contra *legionellae* plantónico en sistemas de agua fría y agua caliente conteniendo agua blanda.

En aguas duras, la ionización es inefectiva debido a la inhabilidad de control de las concentraciones del ion plata. Se puede producir una disfunción en los electrodos y un complejo de ion plata debido a la alta concentración de sólidos disueltos.

El empleo de cloro libre, combinado con iones cobre y plata, produce un efecto sinérgico sobre la ionización, con una inactivación superior sobre las amebas (reservorio de *Legionella pneumophila*) (Hambidge, 2001); se estima que la combinación de un sistema de ionización cobre plata y de una cloración en continuo se puede traducir en el plazo de cinco meses en que el número de "puntos" colonizados por *Legionella pneumophila* disminuya en un 41.6% (Biurrun, Caballero, Pelaz, Leon, & Gago, 1999).

Legionella pneumophila ha sido documentada como sensible a dosis de radiación ultravioleta de 2 500 a 7 000 $\mu W/cm^2$. La irradiación ultravioleta continuada se traduce en una disminución 5 log en la concentración de *Legionella pneumophila* transmitida por el agua en un sistema circulante.

En soluciones tampón en el laboratorio, la exposición a 1 $\mu W/cm^2$ de radiación ultravioleta da lugar a un 50% de destrucción de *Legionella pneumophila* en 17 minutos, siendo el tiempo de exposición para la destrucción de 99% en *Legionella pneumophila* de 48 minutos.

La desinfección continuada con ultravioleta tiene la ventaja de no producir sabor, olor o productos directos nocivos en el agua, y requiere una operación mínima de mantenimiento. Sin embargo, no desinfecta los sistemas de las "biopelículas" debido a una baja penetración en el tapete microbiano. En los sistemas de refrigeración con radiación ultravioleta, el crecimiento principal de las bacterias ocurre en la "biopelícula" y en el sedimento, no expuestos a la radiación. En cambio, la instalación en vena en otros sistemas puede resultar en ausencia de identificación de la bacteria y la prevención de enfermedades durante

largos periodos de años (Hall, Giannetta, Getchell-White, Durbin, & Farr, 2003).

En lo que se refiere a las técnicas de control, la irradiación ultravioleta germicida y la fotocatálisis con dióxido de titanio han sido consideradas como prometedoras en la inactivación de *Legionella pneumophila* (Li, Tseng, Lai, & Chang, 2003). La irradiación ultravioleta es útil para la protección de sistemas acuáticos en áreas pequeñas, pero en ausencia de actividad residual debería ser combinada con otros métodos de desinfección. El mantenimiento del sistema acuático es necesario para reducir la formación de "biopelículas", la recolonización por *Legionella* (Franzin, Cabodi, & Fantino, 2002) y el aumento de la efectividad por radiación ultravioleta.

Para otros métodos se considera que *Legionella pneumophila* es una bacteria con una resistencia alta a la efectividad frente al tratamiento por ozonización (Hambidge, 2001), pues a 1-2 mg/l de ozono en continuo en agua a partir de seis horas de contacto se produce una disminución de la bacteria (5 log). En cambio, este tratamiento presenta una capacidad relevante en la inactivación de microorganismos patógenos resistentes al cloro sin generar compuestos tóxicos.

Así, con objeto de controlar el desarrollo de la bacteria, se estudia mediante la prueba $\chi 2$ si los sistemas de desinfección se encuentran afectados por la categoría de los hoteles. Por ello, y atendiendo al estadístico λ de Pearson, al ser el valor *p* del test muy pequeño, se rechaza la hipótesis nula de independencia entre el sistema de desinfección y tipo de hotel. De igual forma, a través de la Figura 2 se puede deducir que un determinado sistema de desinfección tiene más posibilidad de estar relacionado con un tipo de hotel o cómo pueden afectar estos planteamientos al crecimiento y desarrollo de la bacteria; las principales conclusiones se obtienen por la proximidad o no de la representación de las variables.

Cabe destacar cómo los sistemas de desinfección por radiación ultravioleta presentan una gran correspondencia con los hoteles gran lujo. La cloración se identifica en los hoteles de dos, tres y cinco estrellas, y en torres de refrigeración y condensadores evaporativos; mientras que los hoteles de cuatro estrellas presentan relación con la ozonización e ionización cobre-plata. Considerando que los hoteles de cuatro estrellas disponen el mayor riesgo por incumplimiento de la normativa higiénico-sanitaria española para la prevención de la legionelosis (Gea-Izquierdo, 2008) y que éstos se corresponden de preferencia con los sistemas de desinfección por ozonización e ionización cobre-plata, sería necesario mejorar la eficacia de dichos sistemas en las instalaciones de enfriamiento aire-agua de esta

categoría, máxime estimando la efectividad de desinfección frente a *Legionella pneumophila*.

La bromación implementada principalmente en los hoteles de tres y cuatro estrellas podría reforzarse en algunos casos con otros métodos de desinfección, identificándose en las tres instalaciones de riesgo. El menor riesgo por total cumplimiento de la reglamentación sanitaria se identifica en los hoteles de dos, tres, cinco estrellas y gran lujo. En los tres primeros, el tratamiento de mantenimiento preventivo es principalmente por cloración, lo que en principio garantiza un valor residual siempre que existan otros métodos de control de la calidad del agua (Gea-Izquierdo *et al*., 2012), considerando que los compuestos con halógenos (cloro y bromo) podrían optimizar el cumplimiento de los criterios higiénico-sanitarios (Real Decreto 865/2003, 2003).

Se sugiere que la cloración de los sistemas de agua puede ayudar a limitar el desarrollo de *Legionella pneumophila*, conservando la concentración de la bacteria en intervalos de bajo umbral. La ionización cobre-plata se identifica sobre todo en los condensadores adiabáticos. No existe una asociación clara entre los sistemas de ozonización y radiación ultravioleta y los tres sistemas de intercambio aire-agua descritos.

En determinados casos resulta difícil identificar la presencia de *Legionella pneumophila* en instalaciones que disponen de adecuados métodos de desinfección del agua, asistidos por un protocolizado mantenimiento higiénico-preventivo. Sin embargo, la existencia de diferentes tipos de biopelículas, junto con la presencia de ciertos fenotipos especiales de microorganismos adaptados a ellas, alertan sobre la posibilidad de que algunos biocidas aplicados en el agua podrían no presentar la misma efectividad que en los microorganismos plantónicos. Desde que los microorganismos se adhieren a las superficies y el desarrollo de los fenotipos en las biopelículas se produce con rapidez, es casi imposible eliminar por completo la formación de la biopelícula, pudiendo prevenirse *a priori* por desinfecciones regulares. La destrucción y eliminación de biopelículas establecidas requiere tratamientos severos, sobre todo usando biocidas oxidantes. En función de la naturaleza de las biopelículas, diferentes biocidas pueden ser útiles y el mejor para una biopelícula específica tiene que ser determinado bajo condiciones prácticas, siempre que las características del agua se mantengan constantes.

Mediante el análisis de correspondencias se proporciona un medio de comparación directa de similitud y diferencia de los sistemas de desinfección y caracteres asociados. No es posible asumir siempre que las relaciones encontradas son independientes o lineales, o que se mantienen en el tiempo. La solución de la técnica está condicionada por el conjunto de caracteres incluidos, suponiendo que todos ellos son

apropiados para todos los sistemas y que se aplica la misma dimensión para cada uno. Por lo tanto, hay que considerar que el mapa perceptual resultante se establece sólo en el contexto de los sistemas y tipos de hoteles incluidos en el análisis y proporciona una herramienta relevante en la consecución de una perspectiva óptima para la dirección de la posición relativa de los sistemas de desinfección y tipos de hoteles asociados con esas posiciones. El grado de correspondencia elevado induce a pensar que los resultados reflejan el problema según el diseño aplicado, pero tal tipo de convergencia no garantiza la generalización de los mismos a otras muestras de la población.

Conclusión

La prevención y control de la legionelosis se realizó mediante la adopción de medidas higiénico-sanitarias en las instalaciones industriales en las que *Legionella* spp. era capaz de proliferar y diseminarse. Las medidas se aplicaron a aquellas que utilizaban agua en su funcionamiento, producían aerosoles, y se encontraban ubicadas en el interior o exterior de hoteles que pudieran ser susceptibles de convertirse en focos para la propagación de la enfermedad durante su funcionamiento, pruebas de servicio o mantenimiento.

Los resultados obtenidos mostraron que no existe un cumplimiento hotelero de la legislación sanitaria española para la prevención de legionelosis. Por ello, la inespecificidad o ausencia de métodos de desinfección del agua puede tener serias implicaciones para la población expuesta y, en particular, según la categoría del hotel.

Se estima que han de considerarse los resultados como un primer paso en la determinación de la información perceptual y en la mejora del control de la bacteria, en especial por la inexistencia de estudios previos en el sur de España. De esta forma, será posible determinar el riesgo potencial existente para cada tipo de instalación, en función del método de desinfección del agua de que disponga y dónde esté ubicada, permitiendo la adopción de medidas de prevención específicas en el desarrollo y dispersión de la bacteria, la mejora en la vigilancia epidemiológica de la legionelosis y de las acciones a realizar en términos de salud pública.

Referencias

Biurrun, A., Caballero, L., Pelaz, C., Leon, E., & Gago, A. (1999). Treatment of a *Legionella pneumophila*-colonized water distribution system using copper-silver ionization and continuous chlorination. *Infection Control* & *Hospital Epidemiology*, 20(6), 426-428.

Borella, P., Montagna, M. T., Romano-Spica, V., Stampi, S., Stancanelli, G., Triassi, M., Neglia, R., Marchesi, I., Fantuzzi, G., Tatò, D., Napoli, C., Quaranta, G., Laurenti, P., Leoni, E., De Luca, G., Ossi, C., Moro, M., & Ribera-D'Alcalà, G. (2004). *Legionella* infection risk from domestic hot water. *Emerging Infectious Diseases*, 10(3), 457-464.

Dietersdorfer, E., Cervero-Aragó, S., Sommer, R., Kirschner, A. K., & Walochnik, J. (2016). Optimized methods for *Legionella pneumophila* release from its *Acanthamoeba* hosts. *BMC Microbiology*, 16, 74.

Dziewulski, D. M., Ingles, E., Codru, N., Strepelis, J., & Schoonmaker-Bopp, D. (2015). Use of copper-silver ionization for the control of legionellae in alkaline environments at health care facilities. *American Journal of Infection Control*, 43(9), 971-976.

Fields, B. S., Benson, R. F., & Besser, R. E. (2002). *Legionella* and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clinical Microbiology Reviews*, 15(3), 506-526.

Franzin, L., Cabodi, D., & Fantino, C. (2002). Evaluation of the efficacy of ultraviolet irradiation for disinfection of hospital water contaminated by *Legionella*. *Journal of Hospital Infection*, 51(4), 269.

Gea-Izquierdo, E. (2008). *Influencia del mantenimiento higiénico-preventivo de las instalaciones con riesgo de desarrollo de* Legionella pneumophila *en la provincia de Málaga*. Málaga, España: Universidad de Málaga, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico.

Gea-Izquierdo, E. (2012). Enfoque al riesgo de *Legionella* sp. en centros sanitarios del sur de España. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 52(2), 269-274.

Gea-Izquierdo, E. (2016). *Legionellosis*: Epidemiology, clinical features and control strategies. In: Berhardt, L. V. (ed.), *Advances in Medicine and Biology* (pp. 103-113). New York, USA: Nova Science Publishers, Inc.

Gea-Izquierdo, E., Mezones-Holguin, E., & Haro-García, L. (2012). Acciones de prevención y control de la legionelosis: un reto para la salud pública española. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 29(2), 272-276.

Hall, K. K., Giannetta, E. T., Getchell-White, S. I., Durbin, L. J., & Farr, B. M. (2003). Ultraviolet light disinfection of hospital water for preventing nosocomial *Legionella* infection: A 13-year follow-up. *Infection Control* & *Hospital Epidemiology*, 24(8), 580-583.

Hambidge, A. (2001). Reviewing efficacy of alternative water treatment techniques. *Health Estate*, 55(6), 23-25.

Heffelfinger, J. D., Kool, J. L., Fridkin, S., Fraser, V. J., Hageman, J., Carpenter, J., & Whitney, C. G. (2003). Risk of hospital-acquired Legionnaires' disease in cities using monochloramine versus other water disinfectants. *Infection Control* & *Hospital Epidemiology*, 24(8), 569-574.

Heuner, K., Brand, B. C., & Hacker, J. (1999). The expression of the flagellum of *Legionella pneumophila* is modulated by different environmental factors. *FEMS Microbiology Letters*, 175(1), 69-77.

Hilbi, H., Hoffmann, C., & Harrison, C.F. (2011). *Legionella* spp. outdoors: Colonization, communication and persistence. *Environmental Microbiology Reports*, 3(3), 286-296.

Iervolino, M., Mancini, B., & Cristino, S. (2017). Industrial cooling tower disinfection treatment to prevent *Legionella* spp. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1125. DOI: 10.3390/ijerph14101125

Kandiah, S., Yassin, M. H., & Stout, J. (2013). Monochloramine use for prevention of *Legionella* in hospital water systems. *Infectious Disorders Drug Targets*, 13(3), 184-190.

Kim, B. R., Anderson, J. E., Mueller, S. A., Gaines, W. A., & Kendall, A. M. (2002). Literature review efficacy of various disinfectants against *Legionella* in water systems. *Water Research*, 36(18), 4433-4444.

Kusnetsov, J., Iivanainen, E., Elomaa, N., Zacheus, O., & Martikainen, P.J. (2001). Copper and silver ions more effective against legionellae than against mycobacteria in a hospital warm water system. *Water Research*, 35(17), 4217-4225.

Li, C. S., Tseng, C. C., Lai, H. H., & Chang, C. W. (2003). Ultraviolet germicidal irradiation and titanium dioxide photocatalyst for controlling *Legionella pneumophila*. *Aerosol Science and Technology*, 37(12), 961-966.

Lin, Y. S., Vidic, R. D., Stout, J. E., & Yu, V. L. (2002). Negative effect of high pH on biocidal efficacy of copper and silver ions in controlling *Legionella pneumophila*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(6), 2711-2715.

Miyamoto, M., Yamaguchi, Y., & Sasatsu, M. (2000). Disinfectant effects of hot water, ultraviolet light, silver ions and chlorine on strains of *Legionella* and nontuberculous mycobacteria. *Microbios*, 101(398), 7-13.

Ohno, A., Kato, N., Yamada, K., & Yamaguchi, K. (2003). Factors influencing survival of *Legionella pneumophila* serotype 1 in hot spring water and tap water. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(5), 2540-2547.

Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, número 171, BOE (18 de julio de 2003).

Rhoads, W. J., Ji, P., Pruden, A., & Edwards, M. A. (2015). Water heater temperature set point and water use patterns influence *Legionella pneumophila* and associated microorganisms at the tap. *Microbiome*, 3, 67.

Richards, A. M., Von Dwingelo, J. E., Price, C. T., & Abu-Kwaik, Y. (2013). Cellular microbiology and molecular ecology of *Legionella*-amoeba interaction. *Virulence*, 4(4), 307-314.

Srinivasan, A., Bova, G., Ross, T., Mackie, K., Paquette, N., Merz, W., & Perl, T. M. (2003). A 17-month evaluation of a chlorine dioxide water treatment system to control *Legionella* species in a hospital water supply. *Infection Control* & *Hospital Epidemiology*, 24(8), 575-579.

Stout, J. E., & Yu, V. L. (2003). Experiences of the first 16 hospitals using copper-silver ionization for *Legionella* control: Implications for the evaluation of other disinfection modalities. *Infection Control* & *Hospital Epidemiology*, 24(8), 563-568.

Szewzyk, U., Szewzyk, R., Manz, W., & Schleifer, K. H. (2000). Microbiological safety of drinking water. *Annual Review of Microbiology*, 54, 81-127.

Triantafyllidou, S., Lytle, D., Muhlen, C., & Swertfeger, J. (2016). Copper-silver ionization at a US hospital: Interaction of treated drinking water with plumbing materials, aesthetics and other considerations. *Water Research*, 102, 1-10.

UNE-ISO 11731:2007. Calidad del agua. Detección y recuento de *Legionella*, ISO 11731:1998 (2007).

Williams, M. M., & Braun-Howland, E. B. (2003). Growth of *Escherichia coli* in model distribution system biofilms exposed to hypochlorous acid or monochloramine. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(9), 5463-5471.